

近百年东亚冬季风与 ENSO 循环的 相互关系及其年代际异常*

徐建军 朱乾根 施 能

(南京气象学院, 南京 210044)

摘 要 运用相关及滑动相关的计算技术, 讨论了近百年东亚冬季风与 ENSO 循环的相互关系及其年代际异常。研究指出, 东亚冬季风与赤道东太平洋海温的年际关系具有年代际的变化特征; 季风与 ENSO 循环的关系受到季风的 QBO 以及季风-海洋的年代际背景场配置关系的共同作用; 当季风与海洋的背景场处于同样状态时, 强冬季风有利于第二年冬季赤道东太平洋的升温, 产生 El Niño 事件; 当两者的背景场处于反位相状态时, 强冬季风对应于第二年冬季的 La Niña 位相。

关键词 东亚冬季风 ENSO 循环 年代际

1 引言

亚洲季风与 ENSO 事件都是重要的局地气候系统, 对全球气候变化产生重大影响。作为大气、海洋气候变化中的强信号, 它们的活动特点及其相互关系越来越受到广大气象工作者的高度重视。大量的工作从亚洲季风的一子系统印度季风入手, 研究表明印度季风异常与 ENSO 活动具有密切的关系^[1,2]。Webster 等^[3]把亚洲季风加热作用引入海气耦合模式, 当季风加热变化时, 不仅能改变 El Niño 事件的持续时间, 还能使 ENSO 事件出现不规则性。Yasunari^[4]根据印度季风与 ENSO 事件活动的一致性, 把季风-ENSO 事件统一起来, 称为季风-大气-海洋系统, 即 MAOS。很显然, 印度季风与 ENSO 事件之间是密切相关的。

东亚季风作为亚洲季风的另一子系统, 它主要受到纬向海陆热力差异的作用, 这是与印度季风显著不同的。因而东亚季风与 ENSO 的关系有何特殊性是值得思考的, 这方面中国气象学者做出了杰出的工作。李崇银^[5]分析了中国几个测站的冬季气温与 ENSO 活动的关系, 指出在 El Niño 事件发生前的冬半年, 东亚地区高空槽强而频繁, 低层有频繁的强寒潮活动。这一工作开创性地提出了东亚冬季风与 ENSO 活动之间的密切关系, 从而得到了气象界的高度重视。

但是, 如果把中国各地区冬季气温与 ENSO 事件的关系作更全面的分析, 就会发现, 要找到如此好的对应关系是很困难的。这其中主要有两个原因, 一是冬季风强度标准问题, 气温仅仅是冬季风活动中的一种天气现象, 气温高低能在一定程度上反映冬季风的强弱, 但是由于气温在不同的地区会存在一定的差异, 如果测站不一致, 可能会出

1996-06-06 收到, 1996-12-22 收到再改稿

* 国家自然科学基金资助课题, 题号为 49475265

现截然相反的结果。从季风产生的根本原因来说, 纬向海陆热力差造成的纬向的海陆气压差作为东亚季风强度的标准是比较合适的。二是年代际气候背景场的问题, 最近王斌^[7]指出, 由于 1976 年前后海温年代际背景的变化, 就造成了 ENSO 事件的东传、西传演变的不同, 因此, 年代际气候背景场的差异, 可能对季风与 ENSO 关系产生影响。

鉴于以上原因, 本文将以东亚季风强度指数^[8]为衡量冬季风强弱标准, 讨论东亚冬季风和 ENSO 事件的关系, 并且对这种关系的年代际变化作一探讨。

2 资料与计算方法

2.1 资料

本文利用英国气象局整理的北半球 1873~1993 年的月平均海平面气压资料; 全球 1854~1990 年的月平均海温资料。冬季取 12 月到次年 2 月。

2.2 计算方法

表征东亚冬季风强弱是用东亚冬季风强度指数, 其定义方法类似于文献[6], 文献[8]进行了一些改进, 这里就以此文的方法进行计算。在计算东亚冬季风强度指数和印度-太平洋区海温的相关系数时作了两个方面的考虑。一是考虑资料的可靠性, 在作点到面的相关时, 运用了 1944~1990 年的资料, 在点与点的相关时, 运用了 1873~1990 年的资料; 二是考虑相互作用系统的多尺度性, 以 11 点滑动平均滤波后的时间序列作为年代际背景场($\bar{x}$), 以去除年代际背景场后的时间序列($x' = x - \bar{x}$)作为年际尺度的变化场。

为了反映相关的年代际异常, 本文运用了滑动相关系数的计算技术。滑动相关系数可表示为

$$r_{xy}(t_0) = \frac{\sum_{t=t_0-N}^{t_0+N} [x(t) - \bar{x}(t_0)][y(t) - \bar{y}(t_0)]}{\frac{1}{l} \sqrt{\sum_{t=t_0-N}^{t_0+N} [x(t) - \bar{x}(t_0)]^2 \sum_{t=t_0-N}^{t_0+N} [y(t) - \bar{y}(t_0)]^2}},$$

这里 $\bar{x}(t_0) = \frac{1}{l} \sum_{t=t_0-N}^{t_0+N} x(t)$, $l = 2N+1$ 为滑动窗口长度。

3 东亚冬季风与印度-太平洋区海温的同时相关特征及其年代际异常

文献[8,9]的分析表明, 东亚冬季风与印度-太平洋区海温的长期变化都存在显著的年际及年代际异常, 为了较清楚地反映相互关系的年际及年代际差异, 这里将两种尺度进行分离, 分别说明它们之间的相互关系。

图 1 表示了 1944~1990 年期间东亚冬季风与印度-太平洋区海温在两种时间尺度上的同时相关系数分布。从图可以看出, 在年际变化上东亚冬季风与赤道印度洋、中东太平洋以及西太平洋黑潮暖流区的海温具有显著的负相关, 相关系数都超过 0.01 的信度检验, 其中与赤道中东太平洋的相关超过 0.001 的信度检验。另外, 与赤道西太平洋

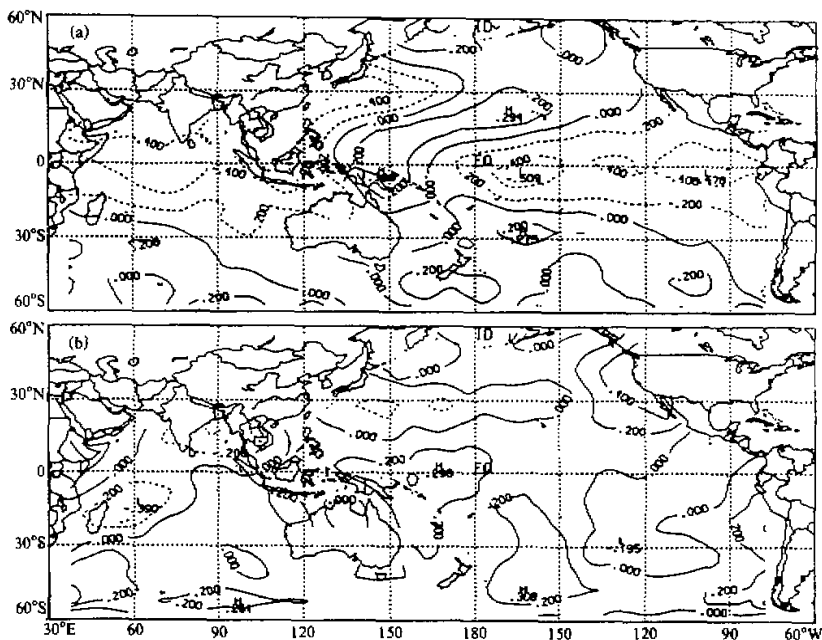


图1 东亚冬季风强度指数与印度-太平洋海温的同时相关分布
(a) 年际尺度, (b) 年代际尺度

暖池以及北太平洋中途岛附近海温具有较强的正相关, 其中暖池海温的相关系数也超过 0.01 的信度检验。

由以上的相关系数分布表明, 东亚冬季风的年际变化与赤道中东太平洋地区海温变化关系特别密切。当东亚冬季风强时, 其同年的赤道印度洋、赤道中东太平洋以及西太平洋黑潮的海温会明显地偏低, 赤道西太平洋以及南北太平洋的海温会明显地升高, 这时正好对应着 ENSO 循环的冷位相。弱冬季风时, 则对应 ENSO 循环的暖位相。

在年代际背景场上, 东亚冬季风的年代际变化与赤道西太平洋暖池、南太平洋中部、东北太平洋的加利福尼亚寒流以及南印度洋马斯克林岛东部地区海温的年代际变化具有密切的关系。它们的相关系数都超过了 0.05 的信度, 其中南印度洋和东北太平洋寒流区超过 0.01 的信度。很显然东亚冬季风与赤道东太平洋的关系在年代际变化尺度上并不密切。

由以上的这一关系不难看出, 东亚冬季风的年代际异常, 除了与赤道西太平洋暖池有较大的关系以外, 其他的主要相关区都位于热带外的重要洋流区, 这说明东亚冬季风年代际变化与热带外海洋温度的年代际变化更为密切。

图 1a 仅仅反映了东亚冬季风的年际变化与印度-太平洋海温的年际变化在 1944~1990 年期间总的相关性。许多研究表明, 大气相对海洋来说, 变化要快得多, 由于变化的特征是不一致的, 因而其相关关系随着长时间的演变, 可能会发生变化, 那么是如何发生变化的呢? 这里作一个滑动相关分析。滑动窗口长度 $l=21$, 当信度 $\alpha=0.05$ 时, $|r_{xy}(t_0)| \geq 0.42$ 。

图 2 表示了 1873~1990 年期间, 东亚冬季风与印度-太平洋的四个关键相关区海温 21 年的滑动相关系数分布特征。从图可以清楚地看出冬季风的年际变化与赤道东太平洋、黑潮暖流区、赤道印度洋以及赤道西太平洋海温的年际变化在最近的 30 年中相关较大, 百年中的相关性具有显著的年代际变化。与赤道东太平洋海温的相关, 在 30 年代之前为负相关, 30 年代和 40 年代相关系数较小, 但也表现出一定的正相关性, 从 50 年代开始到现在都为负相关; 与黑潮暖流区海温变化在百年中都为负相关, 但在 50 年代以后相关性超过了 0.05 的信度标准, 具有显著的负相关性; 与赤道印度洋的相关, 在 1910 年之前为正相关, 在这以后的相关性跟赤道东太平洋相接近; 与赤道西太平洋几乎都为正相关, 在 50~60 年代正相关显著。

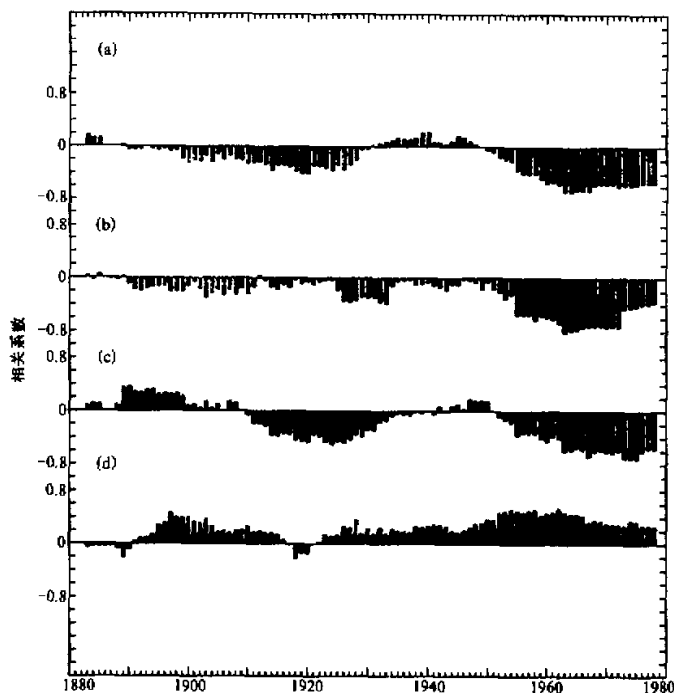


图 2 1873~1990 年间季风与关键区海温的滑动相关系数分布
(a) 赤道东太平洋, (b) 黑潮暖流区, (c) 赤道印度洋, (d) 赤道西太平洋

由以上的分析表明, 东亚冬季风和印度-太平洋海温的相关性不是一成不变的, 而是具有显著的年代际的阶段性的。

4 东亚冬季风与海温的滞后相关特征

东亚冬季风的强弱变化是否对 ENSO 事件产生影响, 从统计分析的角度来讲, 就是能否找到海温发生变化前, 东亚冬季风的变化信息。鉴于此, 这里作了前一年的冬季

风与后一年的冬季海温之间的滞后相关分析。图 3 表示了东亚冬季风超前一年海温变化的滞后相关特征。图中可以看到, 在 1944~1990 年之间东亚冬季风的强弱变化对印度-太平洋海温变化的指示作用并不明显, 只有在赤道东太平洋的部分区域, 相关系数达到 0.1 的信度检验。

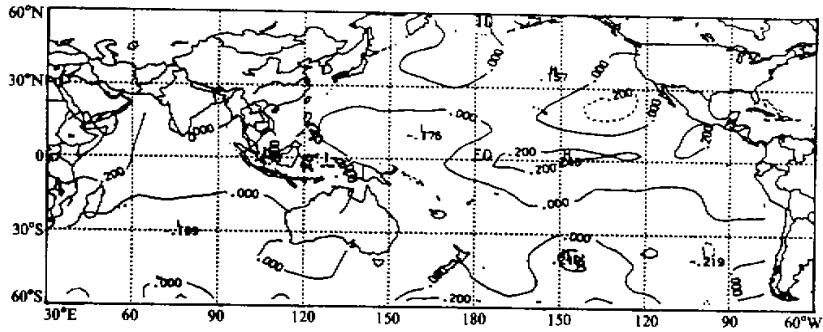


图 3 东亚冬季风与滞后一年的印度-太平洋海温的相关特征

为了进一步说明东亚冬季风与赤道东太平洋滞后相关的阶段性, 这里也作了 21 年滑动的滞后相关分析。从图 4 可以清楚地看出, 东亚冬季风对赤道东太平洋海温异常的指示作用具有显著年代际的阶段性。从上一个世纪到本世纪初为负相关, 本世纪初到 20 年代末为正相关, 30 年代到 40 年代初为负相关, 40 年代末到现在为正相关。

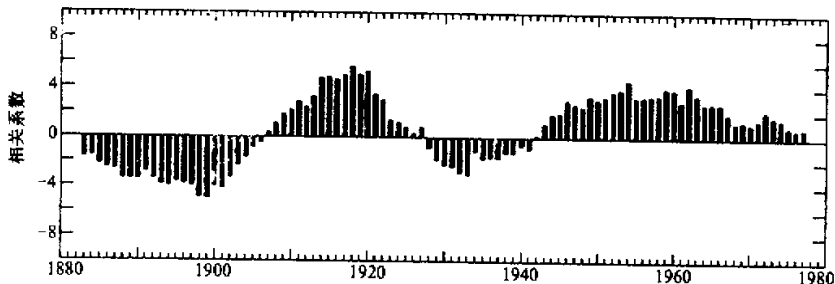


图 4 1873~1990 年间东亚冬季风与滞后一年的赤道东太平洋海温的滑动相关特征

从以上这一关系, 得到这样一个事实, 东亚冬季风的强弱变化与后一年的赤道东太平洋海温变化之间的关系具有显著的年代际变化。这就意味着冬季风活动频繁时, 并不都能产生赤道东太平洋的升温, 例如在 50 年代以后是对应的, 但在 30 年代就不对应了。因此, 前一冬季的强季风活动能否产生 ENSO 事件, 不仅具有年际条件的差异, 而且还有年代际条件的不同。

5 东亚冬季风与赤道东太平洋海温关系年代际异常的物理原因

对照东亚冬季风与赤道东太平洋海温的同时相关图 (图 2a) 和滞后相关图 (图 4)

可以发现从本世纪以来, 相关关系几乎完全相反。这从统计关系上来说, 当同一年弱季风与赤道东太平洋升温相对应时, 那它的前一年就是强季风与海洋升温相对应。这一特征可能与冬季风的准两年振荡 (QBO) 作用有关。

另外, 对近百年间东亚冬季风强度指数和赤道东太平洋海温的时间序列进行十一年滑动平均处理, 所得结果表示了十年以上的年代际变化, 它实际上反映了季风和海温背景场的变化特征。它们的年代际背景变化如图 5 所示。

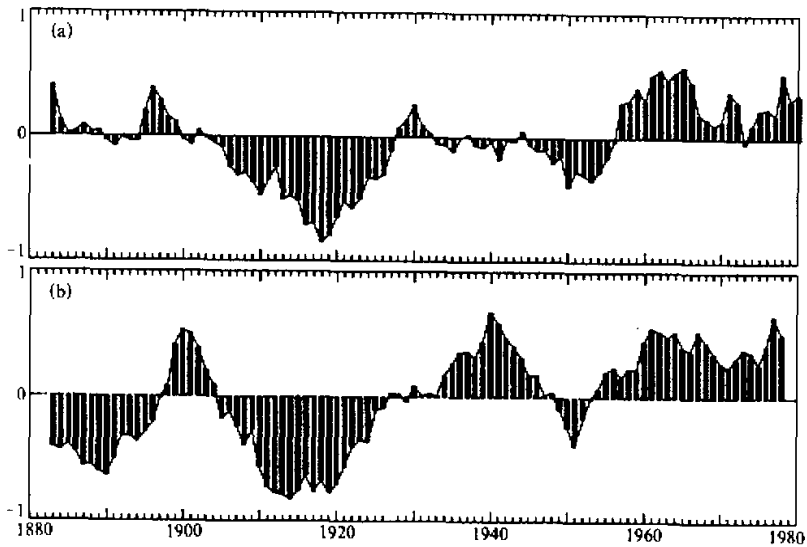


图 5 十一年滑动平均的时间演变曲线
(a) 东亚冬季风强度指数, (b) 赤道东太平洋海温距平

由图可以看出: (1) 在本世纪初到 20 年代, 东亚冬季风处于不活跃时期, 而赤道东太平洋海温背景偏低, 这时称其为冷时期, 这时季风和滞后一年的海温在年际关系上是正相关 (如图 4), 即表明前冬的强冬季风与后一冬季的海温升高相对应; (2) 从 20 年代以后到 40 年代, 东亚冬季风处于另一个不活跃时期 (比上一时期略有增强), 赤道东太平洋海温背景处于暖时期, 这时季风和海温在年际尺度上的关系对应着前一年强冬季风和后一年冬季海洋降温的状态; (3) 从 50 年代以后到 80 年代, 东亚冬季风处于活跃时期, 而赤道东太平洋海温处于另一个升温年代, 这时对应着强冬季风与后一年冬季海温的正相关状态。

从这一关系就不难发现, 当东亚冬季风与赤道东太平洋海温的年代际背景处于同样的状态 (不活跃与海温偏冷或者活跃与海温偏高) 时, 强冬季风有利于后一年赤道东太平洋的升温; 当它们处于相反的状态时, 强冬季风却引起后一年赤道东太平洋海温异常偏低。

由此可以发现, 东亚冬季风的强弱变化是否引起赤道东太平洋的升温 (ENSO 循环的暖位相), 取决于两个因素, 一个可能与冬季风系统的 QBO 有关, 另一个可能是

季风和海洋系统年代际背景场的相互配置在起作用。

6 结论

由以上分析可以得到这样几点认识:

(1) 近百年间东亚冬季风的年际变化与赤道印度洋及赤道东、西太平洋海温的年际异常关系密切, 其同期相关关系具有年代际异常特征。

(2) 东亚冬季风年代际背景场的变化与热带外海表温度的年代际变化关系更为密切。

(3) 强东亚冬季风不总是对应着后一年冬季 ENSO 循环的暖位相, 它们的关系不仅具有年际差异, 而且还有年代际差异。近百年中上世纪和本世纪的 30~40 年代为负相关; 本世纪初到 20 年代以及 40 年代以后到现在为正相关。因此在近 50 年中是强冬季风有利于后一年产生 ENSO 循环的暖位相。

(4) 东亚冬季风与赤道东太平洋海温的年际关系是由冬季风的 QBO 和季风-海温的年代际异常位相配置共同作用的。当相互作用的双方年代际背景场处于相同的位相时, 强冬季风有利于第二年产生赤道东太平洋海温升高, 从而产生 El Niño 事件; 当双方的背景场处于相反的位相时, 则强冬季风对应于 La Niña 事件。

当然, 以上的结论是建立在统计分析基础之上的, 有些地区相关所达到的信度还不高, 所以还需要更多的事实加以证实。不过, 这里还有两个问题是值得进一步思考的:

(1) 东亚冬季风的 QBO 是如何对 ENSO 循环起作用的? (2) 为什么当冬季风与赤道东太平洋的背景场处于相同位相时, 强冬季风就有利于 El Niño 的产生, 而相反位相时, 就有利于 La Niña 的产生呢? 对此, 将在另文加以讨论。

参 考 文 献

- 1 Barnett, T. P., 1985, Variations in near-global sea level pressure, *J. Atmos. Sci.*, **42**, 478~501.
- 2 Meehl, G. A., 1987, The annual cycle and interannual variability in the tropical Pacific and Indian Ocean region, *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 27~50.
- 3 Webster, P. J. and S. Yang, 1992, Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, **118**, 877~926.
- 4 Yasunari, T., 1990, Impact of Indian Monsoon on the coupled atmosphere / ocean system in the tropical Pacific, *Meteor. Atmos. Phys.*, **44**, 29~41.
- 5 李崇银, 1988, 频繁的强东亚大槽活动与 El Niño 的发生, *中国科学 (B 辑)*, No. 6, 667~674.
- 6 郭其盛, 1983, 东亚夏季风强度指数及其变化的分析, *地理学报*, **38**(3), 207~216.
- 7 Wang Bin, 1995, Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades, *J. Climate*, **8**, 267~285.
- 8 施能、鲁建军、朱乾根, 1996, 东亚冬、夏季风百年强度指数及其气候变化, *南京气象学院学报*, **19**(2), 168~177.
- 9 朱乾根、徐建军, 1996, 近百年赤道东太平洋海温长期变化中的突变现象及其与全球增温的同步性, 待发表

The Interaction of East Asian Winter Monsoon with ENSO Cycle and Their Interdecadal Variations in Last Century

Xu Jianjun, Zhu Qiangen and Shi Neng

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

Abstract Based on the method of coherence and moving coherence analysis, the interaction of East Asian monsoon with ENSO cycle and their interdecadal variations in last century are investigated. The results show several points: a) the relationship of East Asian monsoon and the east equatorial Pacific SST on the interannual time scale presents the interdecadal variations; b) the interaction of monsoon with ENSO cycle is under the influence of QBO in monsoon and under the control of the phase relation of monsoon to SST on the interdecadal time scale; c) when the interdecadal variation of East Asian monsoon is in phase with that of the east equatorial Pacific SST, strong winter East Asian monsoon is beneficial to the temperature increasing of the east equatorial Pacific in the next winter and leads to the El Niño event, and when the two air-sea systems are out of phase, the strong winter monsoon is corresponding to the La Niña in the next winter.

Key words East Asian winter monsoon ENSO cycle interdecadal variation

欢迎订阅 1998 年《大气科学》

一年一度的报刊征订工作已经开始, 敬请《大气科学》的新老订户及时到当地邮局办理订阅手续。《大气科学》的邮发代号为 2-823。如果错过邮局的订阅期限或其他原因, 也可直接与编辑部联系订阅。

《大气科学》每期 128 面, 用 80 克胶版纸印刷, 每本定价 16 元, 全年 6 期, 总定价 96 元。《大气科学》将坚持贯彻“百花齐放、百家争鸣”方针, 及时、全面地反映我国在大气科学领域的最新研究成果, 更好地为国民经济建设和社会协调发展服务。

欢迎订阅 1998 年《大气科学》!